

Buendía Lozada, E.R.P. (2011). Reproducibilidad del instrumento HC. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 10 (41) pp. 1-13.  
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista41/artreproductibilidad203.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista41/artreproductibilidad203.htm)

## ORIGINAL

### REPRODUCTIBILIDAD DEL INSTRUMENTO HC

### THE HC INSTRUMENT REPRODUCIBILITY

**Buendía Lozada, E.R.P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Profesor, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, buendiaenr@gmail.com, buendiaenr@yahoo.com.mx

**Código UNESCO:** 2406.04 Biomecánica

**Clasificación del Consejo de Europa:** 3. Biomecánica del deporte

**Recibido:** 9 de octubre de 2009

**Aceptado:** 18 de octubre de 2008

#### RESUMEN

Usando plantografías de boxeadores tomadas en diferentes fechas (antes y después de entrenar y antes y después de pelear en el rin amateur), se muestra la reproducibilidad del Instrumento HC (que es un software) que es el objetivo de este trabajo, comparando este software con el método manual propuesto en (Aguado Jodar, 1997), obteniéndose un elevado coeficiente de correlación de concordancia de Lin ( $>0,98$ ), además de manera gráfica usando Bland – Altman ambos métodos de medición están dentro de los límites 0,944623 a 0,99959.

**PALABRAS CLAVE:** Pie, Biomecánica Deportiva, Ciencias del Deporte.

#### ABSTRACT

Using footprints of boxers taken at different dates, before and after training, and before and after fighting, in the amateur's ring. It shows the reproducibility of the software instrument HC, the ones is the objective of this work, this compared software, with the manual method proposed by (Aguado Jodar, 1997), have had obtained a high coefficient of Lin's concordance correlation ( $> 0.98$ ), and also

graphically using Bland – Altman. Both methods of measurement are within limits 0.944623 a 0.99959.

**KEY WORDS:** Foot, Biomechanics in sports, Sports sciences.

## INTRODUCCIÓN

La concordancia entre mediciones puede alterarse no sólo por la variabilidad de los observadores, sino por la variabilidad del instrumento de medida o por el propio proceso a medir si se realiza en momentos diferentes. La Repetibilidad: indica hasta qué punto un instrumento proporciona resultados similares cuando se aplica a una misma persona en más de una ocasión, pero en idénticas condiciones. Concordancia intra - observador: tiene por objetivo evaluar el grado de consistencia al efectuar la medición de un observador consigo mismo. Concordancia inter - observador: se refiere a la consistencia entre dos observadores distintos cuando evalúan una misma medida en un mismo individuo. (Fernández S. & Díaz S., 2004)

El termino fiabilidad se usa habitualmente como sinónimo de repetibilidad, reproductibilidad o concordancia. El término validez se refiere a si el procedimiento está midiendo realmente el fenómeno que queremos medir (Latour, Abaira, Cabello, & López Sánchez, 1997).

La Calibración es el proceso para controlar la validez de un instrumento. Exige comparar mediciones con un patrón de referencia. (Latour, Abaira, Cabello, & López Sánchez, 1997).

De acuerdo a (Deví Bastida, Mengual, Membrado, & Algueró, 2004) la prueba inter - observador sobre 0.7 es una buena fiabilidad intra - observador.

En este artículo se tiene como principal objetivo medir la reproductibilidad del instrumento HC, ya que es un instrumento que se usará en investigaciones en Biomecánica.

Finalmente, el instrumento HC es un programa de cómputo que se encuentra en la página Sourceforge.NET, en el proyecto Biomechanics, en el paquete Biomechanics en la carpeta FootPrint y que se conforma de dos archivos HC.zip (que se desempaca en una carpeta de trabajo cualquiera) e ImgHCorvo.zip (que se desempaca en la raíz del disco c de la computadora).

## MÉTODO

Para verificar la reproductibilidad del instrumento HC se tomaron plantografías de una muestra de 3 boxeadores para obtener 32 huellas plantares,

donde cada huella plantar define una prueba para dicho instrumento, posterior a esto se escanearon las huellas plantares para realizar la metodología de Hernández Corvo(1990) (Aguado Jodar, 1997) en el uso del instrumento HC que se calibra para cada prueba (para controlar la validez), para verificar la concordancia inter – observador una alumna de la Escuela de Cultura Física realizó el protocolo de Hernández Corvo en dichas plantografías, finalmente en Excel 2007 de Microsoft se verificará el acuerdo entre los instrumentos usados y posteriormente se calculará el coeficiente de correlación de Concordancia de LIN para verificar la reproductibilidad.

La toma de plantografías se distribuyó como sigue: Para el boxeador amateur (K) se tomaron 16 platografías, antes de pelea y después de pelea, antes de entrenar y después de entrenar. Para el boxeador amateur (A) se tomaron 8 plantografías; antes de entrenar y después de entrenar. Para el boxeador amateur (G) se tomaron 8 plantografías; antes de entrenar y después de entrenar. En un periodo comprendido de 2 meses en momentos aleatorios, para realzar lo descrito en la introducción “La concordancia entre mediciones puede alterarse no sólo por la variabilidad de los observadores, sino por la variabilidad del instrumento de medida o por el propio proceso a medir si se realiza en momentos diferentes.” y provocar la no concordancia.

La correlación y la regresión lineal son suficientes para evaluar el acuerdo entre dos métodos (pero una alta correlación no implica automáticamente que hay concordancia entre los dos métodos (Wikipedia, 2009)) pero existe la necesidad de un índice de resumen para evaluar la reproductibilidad de las mediciones. Este índice fue desarrollado por Lin (1989) y se denomina coeficiente de correlación de concordancia. Lin a mostrado que el método de evaluar reproductibilidad es superior al de comparación de coeficientes de variación (B. Mandeville, 2007), prueba t pareada (que es lo que se usó en (Tzvetkov, 2009)), regresión, correlación de Pearson (que es lo que se usó en (Tzvetkov, 2009)) y correlación intra – clase (que es lo que se usó en (Barton, Bonnanno, & Menz, 2009)); además ha mostrado que la prueba es robusta. (B. Mandeville, 2007).

Lawrence Lin dio la forma del coeficiente de correlación de concordancia (Wikipedia, 2008), como:

$$r_c = \frac{2 * Cov_{xy}}{S_x^2 + S_y^2 + (\bar{x} - \bar{y})^2}$$

Donde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n x_n$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (x_n - \bar{x})^2$$

$$Cov_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y})$$

Teniendo las siguientes propiedades (Lawrence I-Kuei, 1989):

- i)  $-1 \leq -|r| \leq r_c \leq |r| \leq 1$ , con  $r$ = coeficiente de correlación de pearson.
- ii)  $r_c = 0 \Leftrightarrow r=0$
- iii)  $r_c = r \Leftrightarrow S_x = S_y$  y  $\bar{x} = \bar{y}$
- iv)  $r_c = \pm 1 \Leftrightarrow$ 
  - a.  $r = \pm 1$  ,  $S_x = S_y$  y  $M_x = M_y$  o equivalentemente
  - b. cada pareja de datos es igual (1,1; 2,2; 3,3; 4,4; 5,5) $\Rightarrow r_c = 1$  o
  - c. los datos están perfectamente en posición inversa (5,1; 4,2; 3,3; 2,4; 1,5)  $\Rightarrow r_c = -1$ .

La concordancia se usó con el cuadrado del Coeficiente de Correlación de Pearson en las tablas hechas en Excel. Se creó la gráfica Bland – Altman para mostrar las posibles diferencias entre los métodos de medición (usando Excel).

Se usó el programa Excel (Microsoft, 2007) y el programa CCLIN (Buendía Lozada, 2009), para realizar los cálculos anteriores.

Las unidades de medición serán las que se usen en el instrumento HC para calibrar los resultados, en este caso se usaron centímetros que es la propuesta del método en (Aguado Jodar, 1997) que es la metodología propuesta en este artículo.

La reproductibilidad de otro observador se realizó como: Observador 1 metodología de Hernández Corvo de forma manual, Observador 2 usando la aplicación de computo HC propuesta; esto para probar igualmente (valorando los mismos individuos de la muestra) la concordancia inter - observador.

## RESULTADOS

A continuación la columna de cada tabla con título HC son las mediciones realizadas con el instrumento de computo y las columnas con títulos K, A y G son

las mediciones hechas en las huellas plantares, realizadas por una alumna de la Escuela de Cultura Física.

La forma para calibrar el instrumento HC se ajustó a la distancia que existe entre la línea 2 y 2', midiendo con una regla sobre la plantografía en los lugares que corresponden a estas líneas y posteriormente introduciendo esta información al programa HC.

En las tablas de la 1 a la 8 la reproductibilidad es la ecuación del coeficiente de concordancia de Lin, Pearson es el coeficiente de correlación de Pearson y Concordancia es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson.

**Tabla 1:** Análisis de reproductibilidad

K								
	HC	K1	HC	k2	HC	k3	HC	k4
x	8.03309377	8.1	7.95011327	8	8.03899765	8	7.77406442	7.8
y	3.46987313	3.8	4.16016872	3.7	3.84845217	3.5	2.96870119	3.3
ay	3.63342592	3.6	3.54895088	3.6	3.54924796	3.6	3.82461193	3.7
ta	5.48471787	5.6	5.93473977	5.6	5.68410351	5.5	5.29583874	5.5
%x	56.80527	53.0864198	47.67158	53.75	52.12771	56.25	61.81275	57.6923077
Pearson		0.99751169		0.99242647		0.99672211		0.99567665
Concordancia		0.99502957		0.98491029		0.99345497		0.991372
Reproductibilidad		0.9952059		0.98667365		0.99392911		0.99354758

**Tabla 2:** Análisis de reproductibilidad

K								
	HC	K5	HC	K6	HC	K7	HC	K8
x	7.91929263	7.3	7.96262718	7.9	7.89685642	8	7.98504984	8
y	3.28787288	3.3	3.52584874	3.5	3.26025018	3.3	3.08284889	3.3
ay	3.70446578	3.8	3.86408347	3.7	4.03202891	4	4.15520604	4.2
ta	5.53349147	5.7	5.7936019	5.6	5.90962476	5.8	5.50679915	5.7
%x	58.48275	54.7945205	55.72003	55.6962025	58.71458	58.75	61.39224	58.75
Pearson		0.9929742		0.99923639		0.99912039		0.9992217
Concordancia		0.98599777		0.99847336		0.99824156		0.99844401
Reproductibilidad		0.98210879		0.99725983		0.99903242		0.99668263

**Tabla 3: Análisis de reproductibilidad**

K								
	HC	K9	HC	K10	HC	K11	HC	K12
x	7.83716147	7.8	7.55213147	7.7	7.94044842	7.9	7.90324484	8
y	3.12159686	3.4	3.05958191	3.3	3.32220758	3.3	3.23378974	3.3
ay	3.7850193	3.8	3.63083196	3.8	3.65281959	3.7	3.70520203	3.7
ta	5.44868274	5.6	5.10482675	5.2	5.12568849	5.2	5.21439049	5.4
%x	60.16929	56.4102564	59.48717	57.1428571	58.16096	58.2278481	59.08276	58.75
Pearson		0.99861737		0.99968264		0.99970788		0.99943193
Concordancia		0.99723665		0.99936539		0.99941584		0.99886419
Reproductibilidad		0.99598346		0.99507468		0.99962472		0.99821392

**Tabla 4: Análisis de reproductibilidad**

K								
	HC	K13	HC	K14	HC	K15	HC	K16
x	7.98550258	8.1	7.89531978	7.9	8.12680116	8.1	7.93826412	7.9
y	3.05532272	3.5	3.29581597	3.4	3.90069558	3.7	3.19055088	3.3
ay	3.88859256	3.9	3.4898495	3.6	3.75870225	3.8	4.00774943	3.8
ta	5.62457138	5.8	5.22329658	5.4	6.164191	6.1	5.93328755	5.7
%x	61.73913	56.7901235	58.25608	56.9620253	52.00208	54.3209877	59.80795	58.2278481
Pearson		0.99687388		0.99964529		0.99887357		0.99720632
Concordancia		0.99375753		0.99929071		0.99774841		0.99442044
Reproductibilidad		0.99126307		0.99797045		0.99821107		0.99582901

**Tabla 5: Análisis de reproductibilidad**

A								
	HC	A1	HC	A2	HC	A3	HC	A4
x	9.43221149	9.5	9.60954902	9.4	9.47756764	9.6	9.37333524	9.5
y	3.14273766	3.4	3.28468165	3.4	4.93595678	5	4.97149061	4.9
ay	4.68611772	4.6	4.72805262	4.6	3.14589624	3.2	3.11866486	3.2
ta	5.46780673	5.4	5.51208284	5.5	6.27112645	6.3	6.23764157	6.3
%x	66.68079	64.2105263	65.81857	63.8297872	47.91958	47.9166667	46.96135	48.4210526
Pearson		0.99830246		0.99953014		0.99994534		0.99958962
Concordancia		0.9966078		0.9990605		0.99989068		0.99917942
Reproductibilidad		0.99805579		0.99825692		0.99947277		0.99924927

**Tabla 6:** Análisis de reproductibilidad

A								
	HC	A5	HC	A6	HC	A7	HC	A8
x	9.45477447	9.5	9.09766452	9.3	9.57625293	9.7	9.36059345	9.3
y	4.88803071	5	4.301083	4.5	3.30005061	3.5	3.50891732	3.5
ay	3.0310235	2.9	3.30476896	3.2	4.66201858	4.6	4.47054966	4.5
ta	6.26359526	6.2	6.02990327	6	6.11634066	6.1	5.61927037	5.5
%x	48.30093	47.3684211	52.72322	51.6129032	65.53923	63.9175258	62.51394	62.3655914
Pearson		0.99938394		0.99873401		0.9989871		0.999741
Concordancia		0.99876826		0.99746962		0.99797523		0.99948206
Reproductibilidad		0.99920252		0.99769594		0.99864294		0.99951681

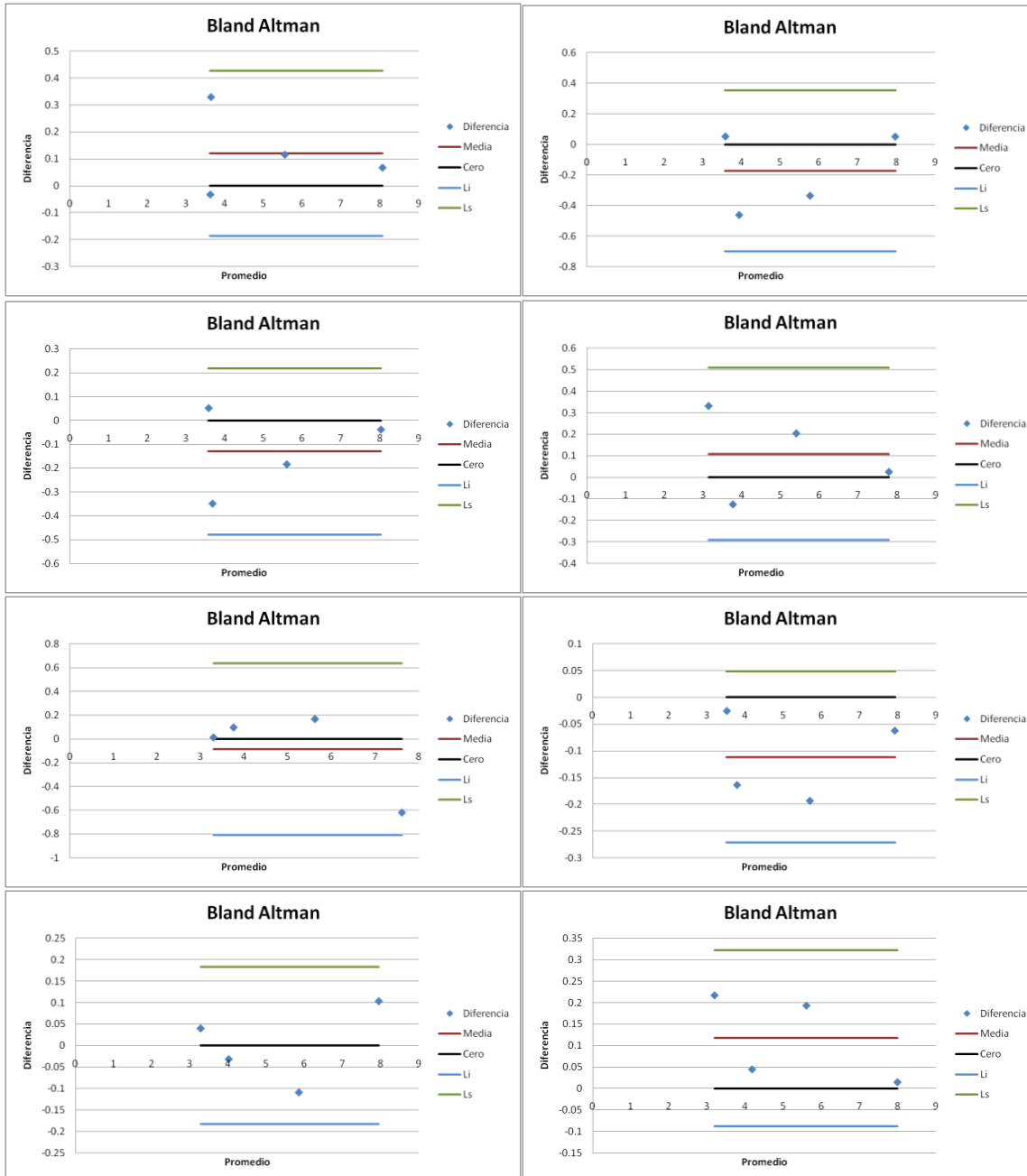
**Tabla 7:** Análisis de reproductibilidad

G								
	HC	G2	HC	G3	HC	G4	HC	G5
x	9.68660426	9.7	9.10666118	9.3	9.01722798	9.4	9.28220213	9.4
y	6.87866187	7.2	7.68109867	7.2	5.9732596	6.2	8.30127534	8.2
ay	0.58432656	0.6	0.93912187	1.2	2.27255027	1.9	0.19082043	0.1
ta	5.66189154	6	6.5401543	6.4	6.24965271	6	6.54974467	6.6
%x	28.98789	25.7731959	15.65406	22.5806452	33.75725	34.0425532	10.56782	12.7659574
Pearson		0.99890425		0.99600331		0.99765169		0.9997606
Concordancia		0.99780969		0.99202259		0.99530889		0.99952126
Reproductibilidad		0.99751707		0.99517531		0.99222872		0.99965656

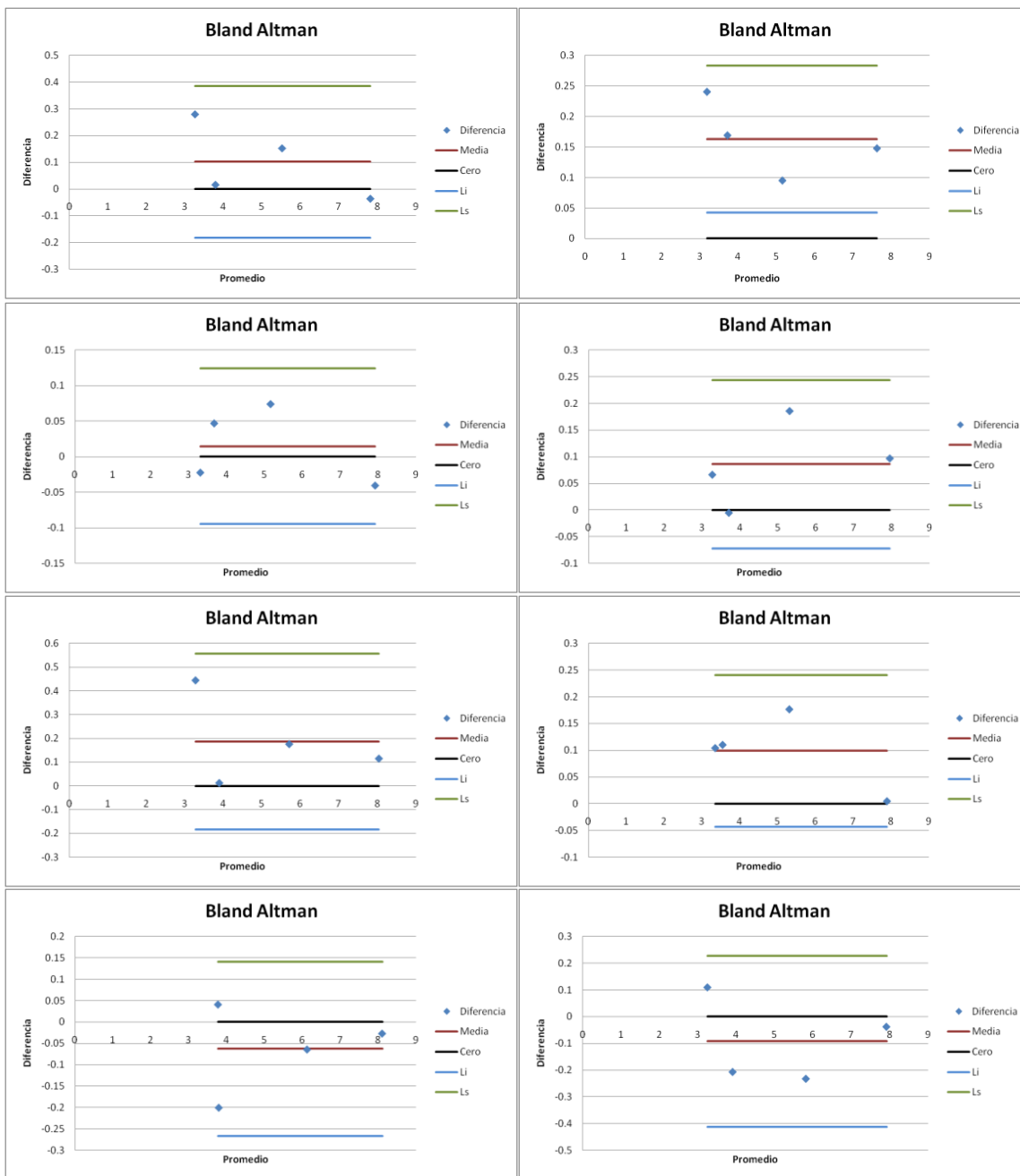
**Tabla 8:** Análisis de reproductibilidad

G				
	HC	G6	HC	G7
x	9.07540651	9.4	9.27024161	9.5
y	7.40430366	7.4	6.57341419	6.4
ay	1.2625881	1.2	1.9103235	1.9
ta	6.52782284	6.3	6.40676515	6.3
%x	18.41353	21.2765957	29.09123	32.6315789
Pearson		0.99834529		0.9986657
Concordancia		0.99669332		0.99733319
Reproductibilidad		0.99772192		0.9983507

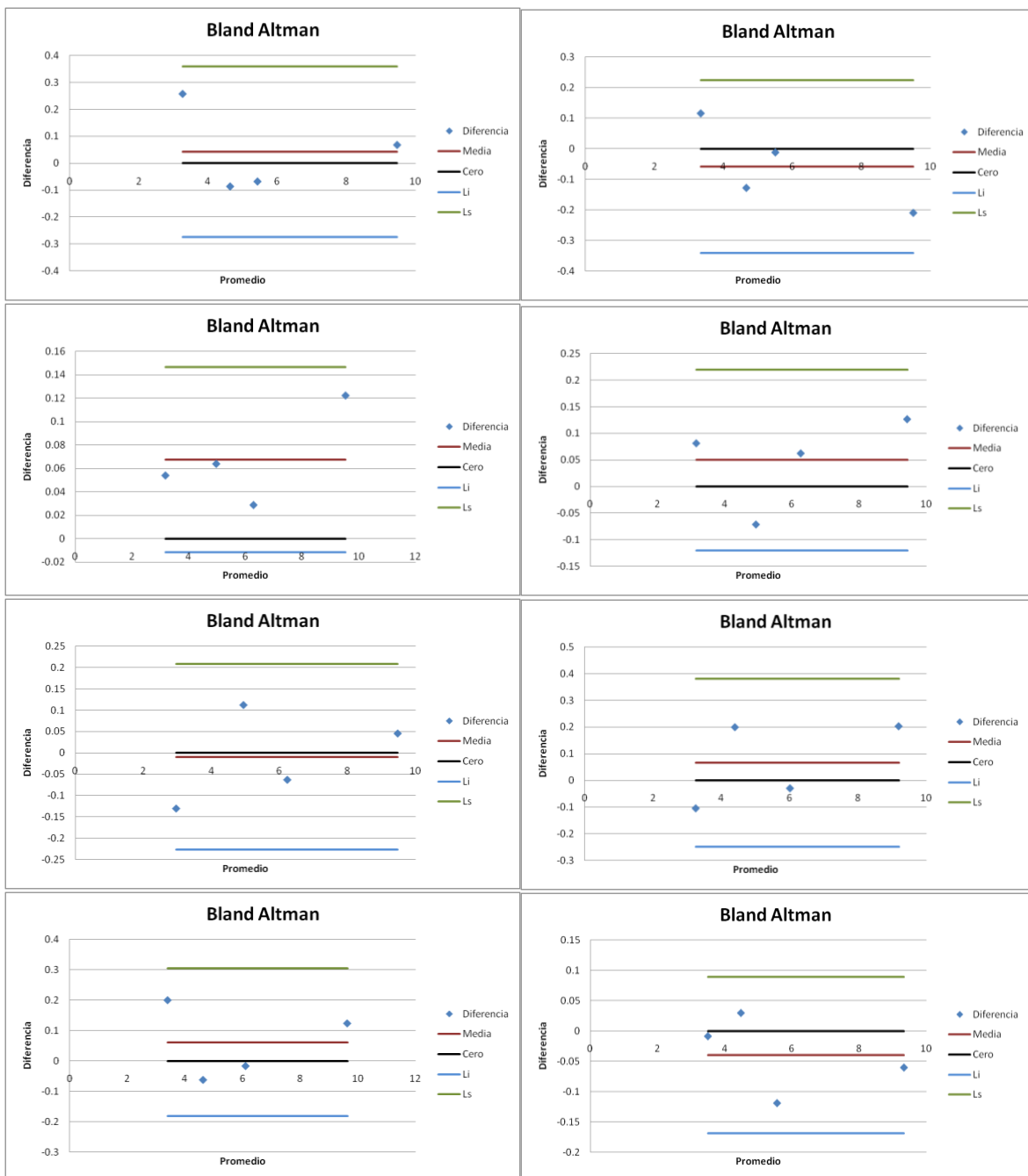
A continuación se demuestra gráficamente lo anterior con las ilustraciones 1,2 y 3 que usan el método de Bland – Altman, que compara la relación entre los dos métodos de medición (Instrumento HC y de manera manual), al aplicar la metodología de Hernández Corvo. Los datos que se compararon son x, y, ay, ta, que son el resultado de mediciones y no %x que es resultado de una operación.



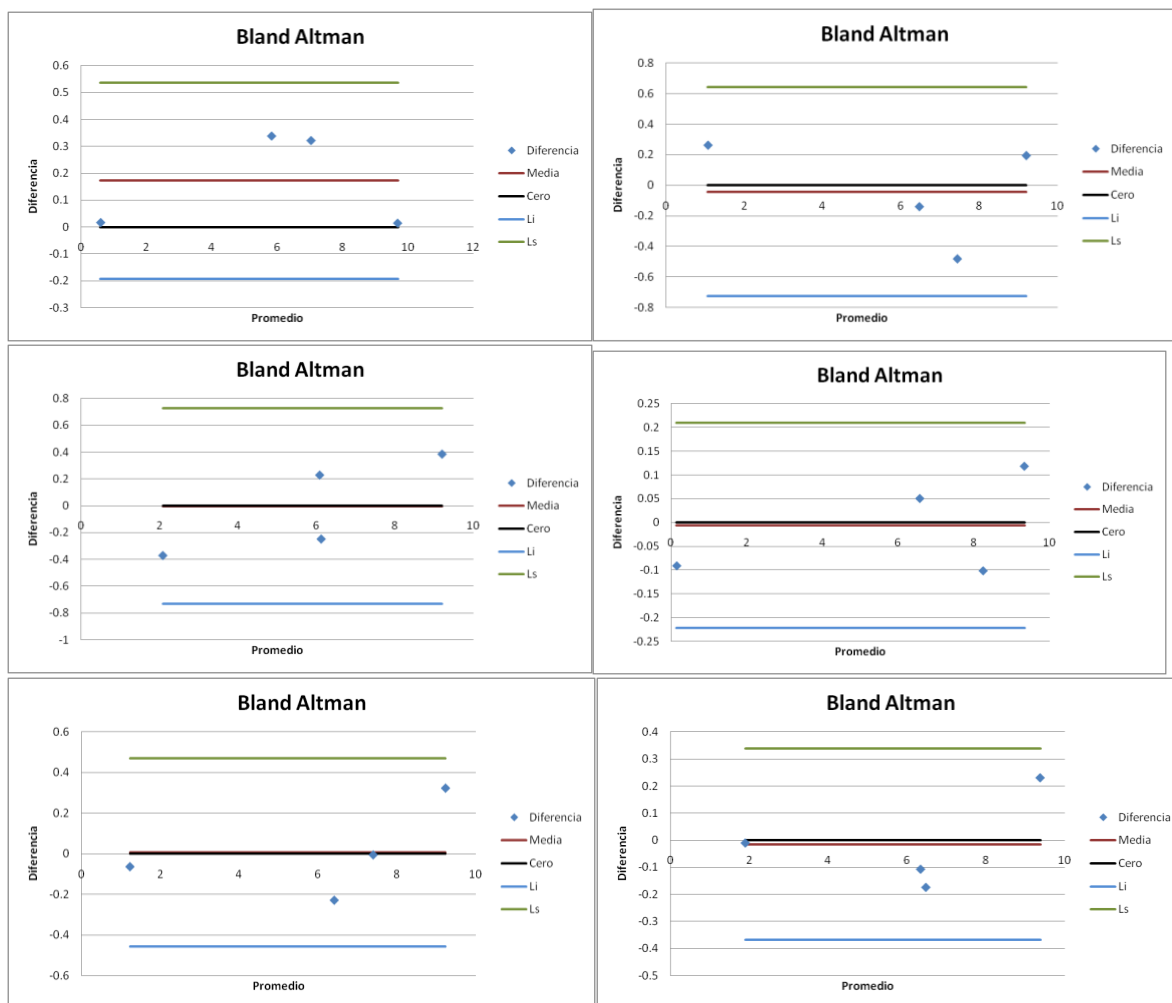




**Ilustración 1** Bland – Altman del Boxeador K vs HC (Orden izquierda a derecha de arriba abajo, para relacionar con las tablas 1, 2, 3 y 4)



**Ilustración 2** Bland – Altman del Boxeador A vs HC (Orden izquierda a derecha de arriba abajo, para relacionar con las tablas 5 y 6)



**Ilustración 3** Bland – Altman del Boxeador G vs HC (Orden izquierda derecha, arriba abajo; para relacionar con las tablas 7 y 8)

En el caso de las tres ilustraciones anteriores no se aprecia error sistemático, y las diferencias se encuentran siempre dentro de los límites.

## CONCLUSIONES

Se realizaron 30 pruebas de reproducibilidad. Donde:

- 28 pruebas de reproducibilidad son mayores e iguales que 0.99 y
- 2 pruebas de reproducibilidad están entre 0.98 y 0.99.

De acuerdo a CCLIN (Buendía Lozada, 2009) (Hamilton & Stamey, 2007) se tendrá un intervalo de referencia de 0.944623 a 0.99959.

Los límites proveen solo una referencia y no deben ser usados como factor determinante para concluir concordancia entre dos instrumentos (Hamilton & Stamey, 2007).

Debido a que el instrumento HC tiene una alta reproductibilidad (mayor a 0.98) se recomienda su uso si se desea trabajar en equipo de cómputo en investigaciones con la metodología de Hernández Corvo; mostrando su uso en laboratorio de Biomecánica deportiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguado Jodar, X. (1997). *Biomecánica dentro y fuera del laboratorio*. España: INEF.

B. Mandeville, P. (2007). El coeficiente de correlación de concordancia de Lin. *Ciencia UANL* , 91-94.

Barton, C. J., Bonnano, D., & Menz, H. B. (2009). Development and evaluation of a tool for the assessment of footwear characteristics. *Journal of foot and ankle research* , 2-10.

Buendía Lozada, E. R. (2009). *SourceForge.Net*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2009, de Biomechanics, Test, Lin, CCLIN: <http://sourceforge.net/projects/biomechanics/files/>

Deví Bastida, J., Mengual, M., Membrado, M. R., & Algueró, A. (2004). Reproducibilidad interobservador de la escala AVD Alzheimer, entre las disciplinas de psicología y medicina. *Rev Mult Gerontol* , 74-79.

Fernández S., P., & Díaz S., P. (2004). Investigación: Análisis de concordancia para variable numéricas. La fiabilidad de las mediciones clínicas: el análisis de concordancia para variables numéricas. *Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística.Complexo Hospitalario-Universitario Juan Canalejo.A Coruña (España)* . , 1-9.

Hamilton, C., & Stamey, J. (2007). Using Bland-Altman to asses agreement between two medical devices - don't forget the confidence intervals! *Journal of Clinical Monitoring and Computing* , 331-333.

Latour, J., Abaira, V., Cabello, J., & López Sánchez, J. (1997). Métodos de investigación en cardiología clínica. *Revista española de Cardiología* , 117-135.

Lawrence I-Kuei, L. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* , 255-268.

Microsoft. (2007). Excel 2007. EEUU.

Tzvetkov, S. (2009). The reproducibility of the ventilatory anaerobic threshold determination methods among two maximal treadmill exercise protocols in elite orienteers. *Physical Education and Sport, Bulgary* . , 45-53.

Wikipedia. (25 de Julio de 2009). *Wikipedia*. Recuperado el 14 de Agosto de 2009, de Bland–Altman plot: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bland–Altman\\_plot](http://en.wikipedia.org/wiki/Bland–Altman_plot)

Wikipedia. (29 de Octubre de 2008). *Wikipedia, the free encyclopedia*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2008, de Concordance correlation coefficient: [http://en.wikipedia.org/wiki/Concordance\\_correlation:coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Concordance_correlation:coefficient).

**Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte- vol. 11 - número 41 - marzo 2011 - ISSN: 1577-0354**